

3º Laboratório de Sistemas e Sinais

(LEIC – Alameda – 2007/08)

Data de realização e de entrega: semana 29/Out – 02/ Nov de 2007.
Local da realização: Laboratório de Controlo, Automação e Robótica, localizado no piso 1 (cave) do Pavilhão de Mecânica III.
Relatórios: Os relatórios seguem a estrutura descrita na secção *Aulas de Laboratório* do site de SS no fenix. Os ficheiros resultantes devem ser comprimidos num único ficheiro, cujo nome segue a norma ***SS_3_#grupo***. A entrega do ficheiro é feita na própria aula. O laboratório está cotado em 19 valores. A qualidade do relatório está cotada em 1 valor.

Exercício 1 *(8.0 valores)*

Um problema comum na acústica de edifícios prende-se com a existência do efeito de eco, aqui denominado por ***sistema de eco***. A seguinte equação às diferenças apresenta um modelo simplificado para este sistema,

$$y(n) = x(n) + \alpha x(n-N),$$

onde $x(n)$ é o sinal de entrada e o termo $\alpha x(n-N)$ representa o sinal de eco com um atraso de N amostras e coeficiente de atenuação α.

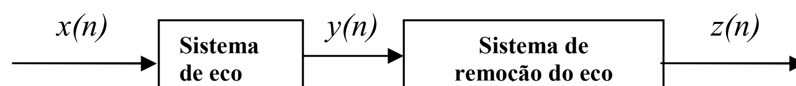
O eco é considerado como uma distorção do sinal sonoro original e o seu tratamento assume particular importância em espaços tais como auditórios ou salas de espectáculos. Uma metodologia passiva para o seu cancelamento consiste na introdução de elementos arquitectónicos que minimizem a produção de eco na sala. O presente laboratório aborda o problema da remoção do eco utilizando uma metodologia activa baseada na inversão do modelo do sistema.

i) Apresente os termos da resposta impulsiva do **sistema de eco**, $h_y(n)$, para $\alpha = 0.5$, $N = 10000$. Represente os termos de $h_y(n)$ num gráfico. Classifique o sistema quanto a ser FIR ou IIR. *(1.0 valores)*

ii) Pode-se obter um **sistema de remoção de eco** pela utilização do modelo inverso do sistema, neste caso representado pela seguinte equação às diferenças,

$$z(n) + \alpha z(n-N) = y(n),$$

onde $z(n)$ representa a nova saída do sistema, idealmente sem a presença de eco. O **sistema de remoção de eco** é ligado em cascata ao **sistema de eco**, tal como se mostra na figura seguinte.



Deduza a expressão da resposta impulsiva $h_z(n)$ do **sistema de remoção de eco**. Apresente num gráfico os termos de $h_z(n)$ que considerar significativos. Classifique este novo sistema quanto a ser FIR ou IIR. *(2.0 valores)*

iii) Mostre analiticamente que o sistema da alínea 1.ii) corresponde ao inverso do **sistema de eco** proposto no enunciado. No relatório apresente apenas os paços principais da demonstração. *(2.0 valores)*

[**Nota:** use o facto de que $h_y(n) * h_z(n) = \delta(n)$]

iv) Utilize a função *conv* do *Matlab* para realizar a operação de convolução da resposta impulsiva total, i.e. $h_y(n) * h_z(n)$. Apresente num gráfico os termos que considerar significativos. Comente tendo em conta os resultados da alinea anterior. *(1.0 valores)*

v) Abra o ficheiro *dados.zip* e carregue o ficheiro de dados *som_1.wav* para o workspace do Matlab. Considere este sinal como entrada *x(n)* para o ***sistema de eco*** e determine os sinais das saídas *y(n)* e *z(n)*. Escute cada um dos sinais e comente. *(2.0 valores)*

[**Nota:** utilize a função *filter* do *Matlab* para as simulações]

Exercício 2 *(11 valores)*

Em aplicações reais os valores dos parâmetros do atraso N e da atenuação α do modelo proposto para o ***sistema de eco*** têm que ser estimados experimentalmente. Nesta parte do laboratório aborda-se a estimação dos parâmetros do modelo e a influência do ruído de medição nesse processo.

i) O valor de N pode ser estimado pela análise da autocorrelação do sinal,

$$R_{yy}(n) = y(n) * y(-n)$$

sendo que em situações sem eco o gráfico com os valores de R_{yy} tem um pico centrado em zero e depois decresce rapidamente à medida que $|n|$ aumenta. No caso dos sinais com eco, os eventuais picos que ocorram para n diferente de 0 vão sinalizar o tempo do atraso N.

Determine os valores da autocorrelação para o sinal *y(n)* calculado na alínea 1.v) e estime o parâmetro N pela análise do grafico de R_{yy}. Compare o valor estimado nesta alinea com o valor real de N que foi utilizado para simular *y(n)* em 1.v). *(2.0 valores)*

ii) Depois da obtenção de um valor aproximado para N, o valor α pode ser então estimado usando o facto de que para o instante N se tem,

$$y(N) = x(N) + \alpha\, x(0)$$

Nestas condições, estime o parâmetro α usando para tal a saída *y(N)* e as entradas *x(N)* e *x(0)* da alinea 1.v). Compare o valor de α que obteve nesta alinea com o valor real usado para simular *y(n)*. *(1.5 valores)*

iii) A presença de ruído nos sinais medidos em situações da vida real é bastante comum e poderá influenciar a capacidade de estimar os valores "óptimos" dos parâmetros N e α. Deste modo, considere a existência de ruído aditivo no sinal de saída e comente a sua influência no sucesso da estimação dos parâmetros do modelo. O ruído poderá ser adicionado ao sinal de saída utilizando a seguinte expressão na linha de comandos do Matlab,

```
>> yruido = y + A * randn(size(y));
```

Na sua resposta considere valores no intervalo A ∈ [0.1, 0.5]. *(2.5 valores)*

iv) Aplique a metodologia das alíneas 2.i) – 2.ii) ao caso dos dados existentes no ficheiro *som_2.wav*, o qual faz parte do ficheiro *dados.zip*, para a estimação de valores aproximados dos parâmetros do modelo, i.e. N e α. *(3.0 valores)*

v) Uma abordagem possível para a validação dos parâmetros estimados para o modelo do ***sistema de eco*** consiste na aplicação da metodologia descrita na alínea 1.ii) ao vector de dados original (i.e. com eco) e verificar se o cancelamento do eco é aceitável. Aplique esta abordagem aos dados do ficheiro *som_2.wav* e comente acerca da qualidade dos parâmetros obtidos na alínea 2.iv). *(2.0 valores)*